

Проверка гипотезы о нормальном распределении низкочастотного шума полупроводниковых приборов: тезисы доклада

И. В. Бардушкина, А. А. Ананьевский

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Россия

yarkaktus@gmail.com

Test of Hypothesis of the Normal Distribution of Low-Frequency Noise in Semiconductor Devices

I. V. Bardushkina, A. A. Ananievskiy

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

yarkaktus@gmail.com

The authors did make statistical analysis of the results of the root-mean-square voltage measuring of the low-frequency noise of semiconductor devices and of characteristics calculated on their base. The authors have excluded from data the outliers according to the Sovine criterion. They did test a hypothesis of normal distribution of the low-frequency noise voltage.

Keywords: statistical analysis; hypothesis testing; Sovine criterion; Chi-squared test; low-frequency noise.

Оценка надежности изделий электроники проводится по таким характеристикам, как время наработки до отказа и вероятность отказа. Испытания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем требуют значительных материальных и временных затрат — это несколько тысяч часов непрерывной работы. Поэтому изделия подвергаются ускоренным испытаниям с повышенными нагрузками: воздействие температуры, электростатических разрядов, пониженное напряжение питания, изменение силы входного тока.

Наиболее характерные для полупроводниковых изделий низкочастотные шумы могут служить для прогнозирования их надежности и качества. Один из методов диагностики полупроводниковых приборов основывается на определении характеристик низкочастотного шума [1].

Постановка задачи. Даны среднеквадратичные значения напряжения низкочастотного шума $U_{\text{ш}}$ сорока полупроводниковых приборов (интегральных схем, транзисторов) под воздействием пониженного напряжения питания. Для эксперимента используется высокоточное

измерительное оборудование, систематические погрешности которого гораздо меньше случайных погрешностей измерений. Обработка проводится по значениям характеристики

$$K = \frac{U_{ш5}}{U_{ш2}},$$

вычисленным как отношение измерений $U_{ш}$ при напряжении в 5 В и 2 В [1].

Требуется: найти выбросы по критерию Шовене; провести статистическую обработку данных; проверить гипотезу о нормальном распределении напряжения низкочастотного шума.

Решение. При измерениях возможны ошибки, связанные с человеческим фактором или сбоем аппаратуры. В этом случае исследователь должен решить, стоит ли рассматривать аномальное значение наряду с другими или отбросить его по причине сильного отличия. Вычисления производились на языке *Python* с использованием возможностей пакетов *Matplotlib*, *Numpy*, *Scipy*, а также стандартных библиотек [2; 3].

Построим диаграмму размаха для значений характеристики K (рис. 1).

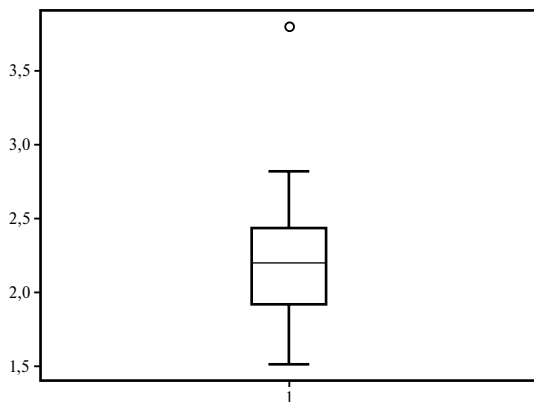


Рис. 1. Диаграмма размаха выборки

Как видно на диаграмме, присутствует выброс. Изучив выборку, сделаем предположение, что выбросом являются показания второго прибора. Проверим данное утверждение

с помощью критерия Шовене [4]. Критерий Шовене используется обычно для проверки наличия грубого выброса (одного сомнительного значения) в небольшой по объему выборке из нормально распределенной совокупности. Вычисления подтвердили, что результаты измерений второго изделия являются выбросом.

Проведем статистическую обработку данных [5; 6] и построим гистограмму и полигон частот (рис. 2).

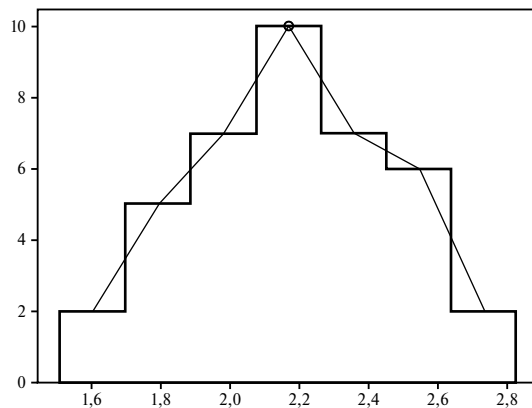


Рис. 2. Гистограмма и полигон частот

Имея характеристики выборки (среднее и несмещенную дисперсию для интервально группированной выборки) и гистограмму частот, предположим, что генеральная совокупность нормально распределена. Проверим с помощью критерия χ^2 гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Для группированных данных после необходимых объединений интервалов разбиения получим статистику $\chi^2_{\text{в}}$, для которой вероятности попадания случайной величины в каждый из интервалов вычислим, имея в виду нормальное распределение генеральной совокупности. Выборочное значение статистики $\chi^2_{\text{в}} = 4,751$ не превосходит квантиль распределения χ^2 с $r - k - 1$ степенями свободы, где r — число интервалов, k — число параметров нормального распределения: $\chi^2_{0,95}(2) = 5,9915$.

Следовательно, нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности.

Таким образом, низкочастотный шум полупроводниковых приборов можно описать как случайную величину с нормальным законом распределения. Используя результаты измерений напряжения низкочастотного шума, можно с определенной вероятностью ошибки классифицировать изделия по надежности, а также получать интервальную оценку вероятности отказа, т. е. прогнозировать отказы изделий по характеристикам шумов.

Литература

1. **Булгаков О. М., Таравков М. В.** Статистический критерий оценки надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем на основе характеристик низкочастотного шума // Вестник Воронежского института МВД России. 2012. № 3. С. 147—155.
2. Numpy and Scipy Documentation // SciPy.org: [website] / SciPy developers. Cop. 2017. URL: <https://docs.scipy.org/doc/> (accessed: 26.12.2017).
3. Plotting commands summary // Matplotlib documentation: [website] / The Matplotlib development team. Cop. 2012—2016. Last updated on May 10, 2017. URL: https://matplotlib.org/2.0.2/api/plot_summary.html (accessed: 26.12.2017).
4. **Тейлор Дж.** Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 272 с.
5. Лабораторный практикум по курсу «Теория вероятностей и математическая статистика» / В. В. Бардушкин, В. В. Лесин, В. Н. Земсков, Н. Н. Мустафин. М.: МИЭТ, 2009. 116 с.
6. **Чернова Н. И.** Лекции по математической статистике: курс лекций. Новосибирск: НГУ, 2002. 180 с.

Бардушкина Ирина Вячеславовна — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики № 2 Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), i_v_bars@mail.ru

Ананьевский Александр Александрович — студент группы ЭКТ-38 Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), yarkaktus@gmail.com

References

1. Bulgakov O. M., Taravkov M. V. Statisticheskii kriterii otsenki nadezhnosti poluprovodnikovykh priborov i integral'nykh mikroskhem na osnove kharakteristik nizkochastotnogo shuma (Semiconductor Devices and Integrated Circuits Statistical Reliability Index Based on Characteristics of Low-Frequency Noise), *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*, 2012, No. 3, pp. 147—155.
2. “Numpy and Scipy Documentation”. *SciPy.org*. SciPy developers, cop. 2017. Web. 26 Dec. 2017. <<https://docs.scipy.org/doc/>>.
3. “Plotting commands summary”. *Matplotlib documentation*. The Matplotlib development team, cop. 2012—2016. Last updated on May 10, 2017. Web. 26 Dec. 2017. <https://matplotlib.org/2.0.2/api/plot_summary.html>.
4. Teilor Dzh. Vvedenie v teoriyu oshibok (Introduction to Error Analysis), Per. s angl., M., Mir, 1985, 272 p.
5. Laboratornyi praktikum po kursu “Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika” (Laboratory Practicum on Theory of Probability and Mathematical Statistics), by V. V. Bardushkin, V. V. Lesin, V. N. Zemskov, N. N. Mustafin, M., MIET, 2009, 116 p.
6. Chernova N. I. Lektsii po matematicheskoi statistike, kurs lektsii (Lectures on Mathematical Statistics, Series of Lectures), Novosibirsk, NGU, 2002, 180 p.

Bardushkina Irina V., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, associate professor of Higher Mathematics Department No. 2, National Research University of Electronic Technology (Shokin Square, 1, 124498, Moscow, Zelenograd, Russia), i_v_bars@mail.ru

Ananievskiy Aleksandr A., student of EKT-38 group, National Research University of Electronic Technology (Shokin Square, 1, 124498, Moscow, Zelenograd, Russia), yarkaktus@gmail.com